機械加工技術の効率化・高精度化のための研究
～工作機械の高精度化システムの開発と機種依存性を考慮したNC生成システムの構築および、CAD/CAEを用いた解析技術の高度化～

機械システム科　主任研究員　**小　楠　進　一**
長崎大学大学院工学研究科　准　教　授　**矢　澤　孝　哲**
（協力機関）九州連携ＣＡＥ研究会

長崎県は、回転電気機械、ボイラ、鋼製船舶などの出荷額が多い。これらの製品は、県内機械加工業が支えており、この業界の技術支援が重要である。機械加工業の要望を調査したところ、①既存の工作機械を高精度化したい、②既存の工作機械を自動化したい、③独自に工作機械の改造や周辺機器の開発をしたいとの回答を得た。これらの要望に応えるために、(a) 工作機械の高精度化システムの開発、(b) 機種依存性を考慮したNCプログラム生成システムの構築、(c)CAD/CAEを用いた解析技術の高度化を行った。本報では、それぞれの開発結果について報告する。

1.　緒　言

長崎県の主な産業は、輸送用機械、汎用機械、電子部品･デバイスとなっている。品目をみると、回転電気機械、ボイラの部分品、鋼製船舶の船体などの出荷額が全国で１位となっている。

これらの製品は、県内機械加工業が支えており、この業界の技術支援が重要である。機械加工業の要望を調査したところ､①既存の工作機械を高精度化したい､②既存の工作機械を自動化したい、③独自に工作機械の改造や周辺機器の開発をしたいとの回答を得た。

そこで、(a)工作機械の高精度化システムの開発、(b)機種依存性を考慮したNCプログラム生成システムの構築、(c)CAD/CAEを用いた解析技術の高度化に関する研究開発を行った。

本報では、それぞれの開発結果について報告する。

2.　工作機械の高精度化システムの開発

例えば、長池[1]らによる既存の工作機械を高精度化するために、測定プローブの接触圧を低減させて、機上計測を行い、その結果を用いて、加工精度を高める研究などはある。しかし、切削後の工作物の真直度を向上させるといったアプローチは少ない。

一般的に、マシニングセンタの補正としては、ピッチ誤差補正のみが行われている。しかし、コントローラの一部には、ピッチ誤差補正に重畳し機能する真直度補正機能が付加されているものがある。通常のマシニングセンタにおいては、この機能は利用されておらず、真直度補正パラメータの修正方法もエンドユーザーには十分に公開されていない。

そこで、本研究では、この真直度補正機能を利用して、切削後の工作物の真直度を向上させる方法を検討することにした。

2.1　開発したシステムの構成

開発した工作機械の高精度化システムの写真を図１に示す。このシステムは、工作機械（㈱牧野フライス製作所 BUN2-85）の主軸に取り付けた変位センサ（オムロン㈱ ZS-LD20S）による測定結果をもとに、工作機械の動きを補正し、平面加工の真直度を向上させることを目的とするシステムである。
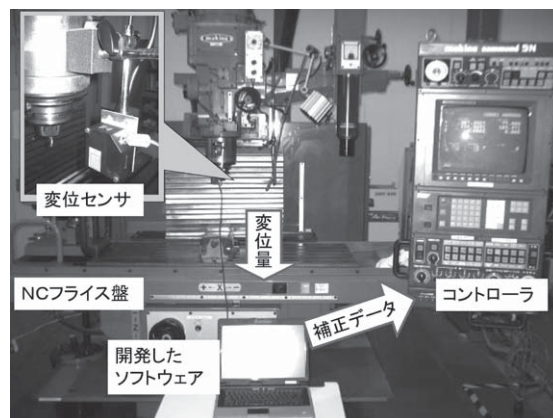
図１　工作機械の高精度化システム

2.2　高精度化システムを用いた加工方法

高精度化システムを用いた平面加工の流れは、次に示すとおりである。

1) 加工準備
2) 粗加工

3) 中仕上げ加工
4) 仕上げ加工準備
5) 仕上げ加工
　以下に、各工程について説明する。

1) 加工準備

　工作機械の真直度を向上させるため、平面加工を実施する前に、加工準備を行う。この作業により、工作機械の重量からくる歪の影響を低減させ、工作物をより正確に加工・計測することが可能となる。加工準備では、図２に示すように、変位センサを工作機械の主軸に取り付ける。この変位センサを用いて、ストレートエッジを計測し、工作機械の真直度データを得る。次に、開発したソフトウェアを用いて、真直度データから工作機械に入力する真直度補正パラメータを生成する。開発したソフトウェアのアルゴリズムについては、後の節で説明する。最後に、真直度補正パラメータをコントローラに入力する。
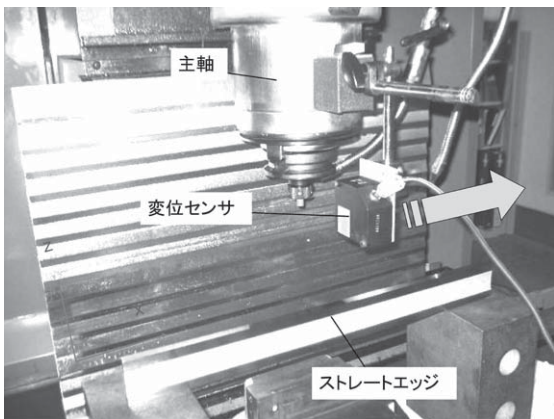
図２　加工準備

2) 粗加工

　図３に粗加工の概要を示す。粗加工では、精度を考慮せず、高速で工作物を切削する。開発したシステムを使用するときも、同様の切削を実施することができる。
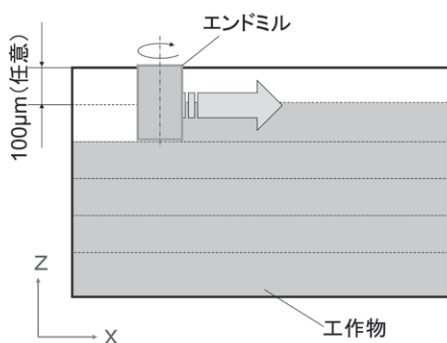
図３　粗加工

3) 中仕上げ加工

　図４に中仕上げ加工の概要を示す。中仕上げ加工では、後工程である仕上げ加工と同様の切削条件で切削を行う。仕上げ加工と同条件の切削を行うことにより、仕上げ加工結果を仕上げ加工前に予測することが可能となる。
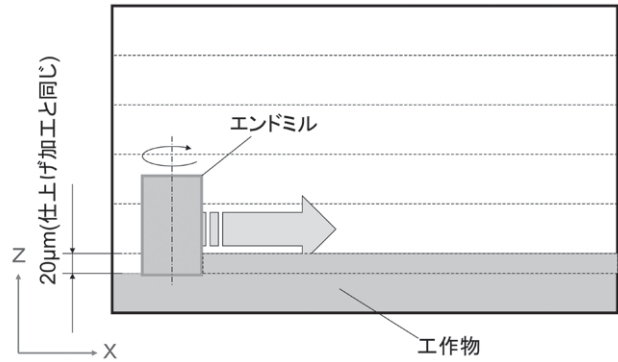
図４　中仕上げ加工

4) 仕上げ加工準備

　仕上げ加工の準備では、工作機械の歪以外の加工外乱を排除する準備を行う。図５に示すように、変位センサを工作機械の主軸に取り付け、この変位センサを用いて、中仕上げ加工結果を計測し、工作物の真直度データを得る。次に、開発したソフトウェアを用いて、真直度データから工作機械の仕上げ用NCプログラムを生成する。最後に、仕上げ用NCプログラムをコントローラに入力する。
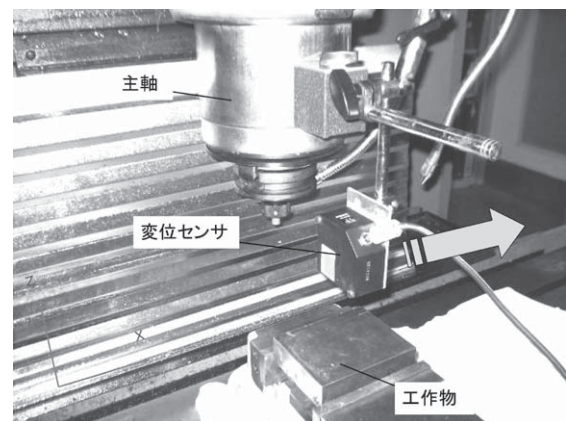
図５　仕上げ加工準備

5) 仕上げ加工

　図６に仕上げ加工の概要を示す。仕上げ加工に使用するNCプログラムは、仕上げ加工準備で生成したものである。また、切削条件は中仕上げ加工と同じ設定にする必要がある。
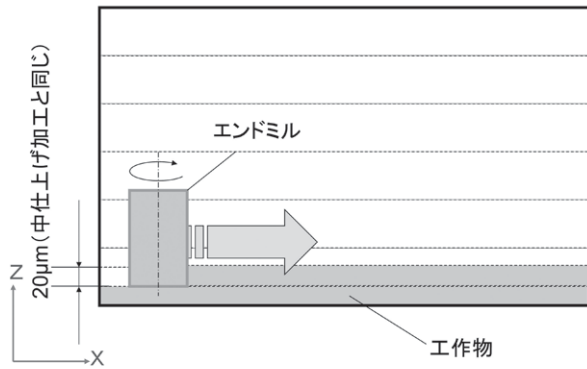
図６　仕上げ加工

2.3　開発したソフトウェアのアルゴリズム

開発したソフトウェアは、変位センサを用いて得た工作機械の真直度データから真直度補正データを生成する。また、同様に変位センサを用いて得た工作物の真直度データから仕上げ用NCプログラムを生成する機能を有する。この生成方法を以下に示す。

図７に示すとおり、真直度補正データの生成は、測定データを反転させ三等分し、これらを直線近似した後、近似直線の交点を算出することで、４点の補正点を生成することにした。４点の補正点を用いて補正する理由は、コントローラの入力フォーマットが４点補正となっているからである[2]。また、仕上げ用NCプログラムも同様の補正を行った。なお、工具はこの４点を直線補間した経路を通ることとした。
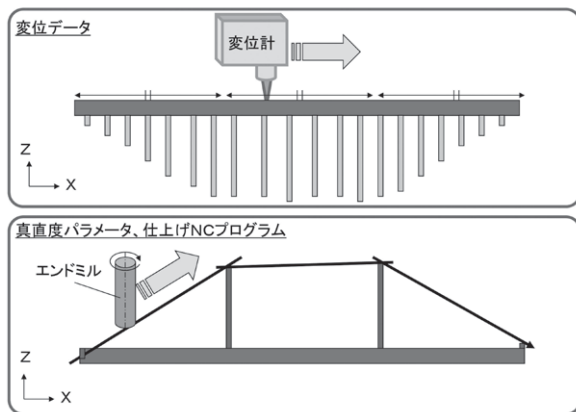
図７　補正データの生成アルゴリズム

2.4　開発したシステムの評価方法

提案したシステムを評価するために、JIS B6333の工作精度検査方法に準拠して、図８に示すように、工作物を切削し、三次元測定機(㈱ミツトヨ LEGEX9106)を用いて、300mmの測定ラインＡ、測定ラインＢの高さ誤差の最大値を求めた。なお、再現性の確認のため、この切削実験を3回ずつ行った。なお、加工には、Φ10のスクエアエンドミルを使用した。
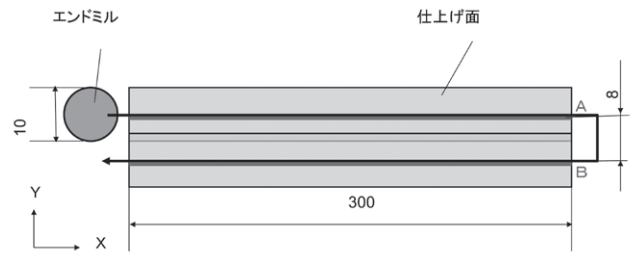
図８　工作物の真直度の評価方法

2.5　工作機械の高精度化システムの評価結果

前節に示した評価方法を用いて、真直度の評価を行った。図９に、システムの使用の有無による工作物の高さ誤差の評価結果を示す。３回ずつ切削した工作物をそれぞれ測定し、最大値、最小値、平均値を求めた。図９に示すとおり、300mmの切削において、高さ誤差の平均値を約50%低減できた。

また、図１０では、システムを使用した場合と使用してない場合、それぞれで工作物の高さ誤差を三次元測定機で測定した結果の一例を示す。図１０に示すとおり、開発したシステムにより中央部の高さ誤差が大きく低減されていることが確認できた。

これらの結果から、平面加工において、このシステムは有効であることが確認できた。
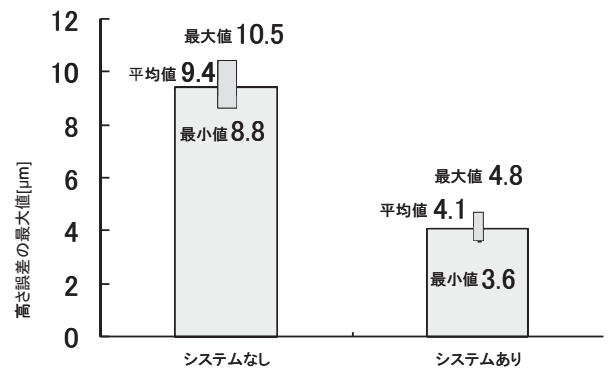
図９　評価結果
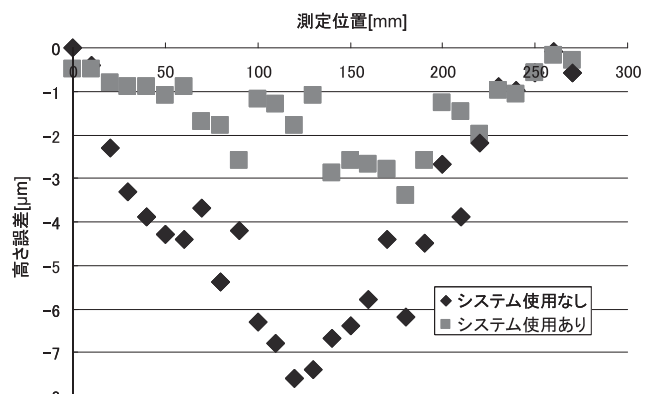
図１０　評価結果の一例

3. 機種依存性を考慮したNC生成システムの構築

現状では、当センターが保有するCAD/CAM（Unigraphics NX）を用いて、県内企業が保有する工作機械を制御するためのNCプログラムを生成することができず、工作機械の自動化支援を実施することが困難である。工作機械には、垂直または水平スピンドルがあるもの、複数の軸を同時に移動する間に切削を行うものなど、特有のハードウェア機能や動作条件がある。また、各工作機械はコントローラにより制御されており、このコントローラにも特有のソフトウェア特性が備わっており、一様でない。

これらの理由から、様々な工作機械とコントローラの組み合わせに適合するようにCLデータを修正しなければ、様々な仕様の工作機械を制御することはできない。この修正をポストプロセスと呼ぶ。CLデータをポストプロセスすることで、NCプログラムが生成される。ポストプロセスには、次の要素が不可欠である。

・トランスレータ：CLデータを読み込み、特定の機械およびそれに伴うコントローラで使用できるように再フォーマットするプログラム。Unigraphics NXに付属されている。

・ポストプロセサ：トランスレータの変換方法を設定するプログラム

本研究では、機種依存性を考慮したNCプログラム生成システムを構築し、図１１に示すとおり、県内企業が保有する様々な仕様の工作機械を制御するNCプログラムを生成可能とするため、ポストプロセサを作成するソフトであるポストビルダーを用いて、Unigraphics NXのポストプロセサを作成した。
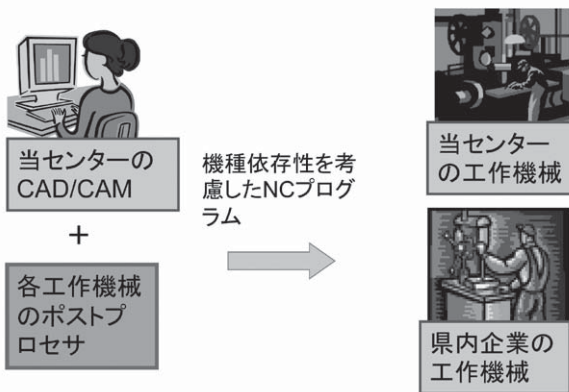
図１１　目標とするNCプログラムの生成

3.1 ポストプロセサの作成方法

図１２に示すとおり、CLデータは、イベントハンドラ（*.tcl）に含まれる指示、および、定義ファイル（*.def）に含まれるフォーマットに従ってポストプロセスされる。

ここで、イベントハンドラとは、CLデータを処理する機械とコントローラの各組み合わせに応じた命令セットであり、これらの命令セットによって、ツールパスデータの処理様式と各イベントの機械での実行方法を定義するものである。

また、定義ファイルとは、特定の機械とコントローラの組み合わせに関連した静的情報を含むファイルである。定義ファイルには、機械の一般的な属性、機械によってサポートされるアドレス、各アドレスの属性（フォーマット、最大、最小）が記述される。

このイベントハンドラと定義ファイルは、TCL[3]（Tool Command Language）を用いて作成する。TCLとは、カリフォルニア大学バークレー校のJohn K. Ousterhout氏によって開発されたインタプリタ型言語のことである。TCLはパブリックドメインソフトウェアで、現在Unigraphics NXがサポートしている全てのプラットフォームで利用できる。

今回は、ポストビルダーを用いることで、効率的に、TCL言語で記述されたポストプロセサを作成することが可能となった。
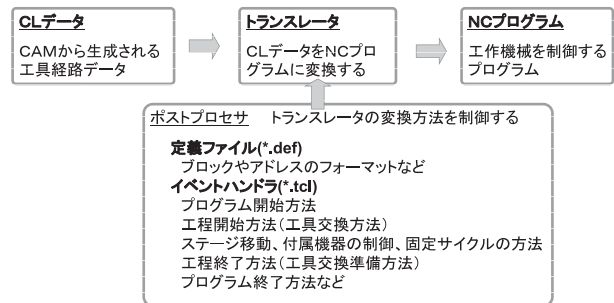
図１２　ポストプロセス

3.2 県内企業の工作機械の自動化方法

作成したポストプロセサは、県内企業の工作機械の自動化に使用できる。図１３に示したように、県内企業の工作機械は以下の手順により自動化が可能となる。

1) 県内企業が目標形状のモデルを用意する。

2) 当センターのCAM（Unigraphics NX）を使用しCLデータを生成する。

3) 企業向けポストプロセサを作成し、企業の工作機械で使用可能なNCプログラムを生成する。

4) 生成したNCプログラムを用いて、県内企業の工作機械を制御し、部品などの製作を行う。
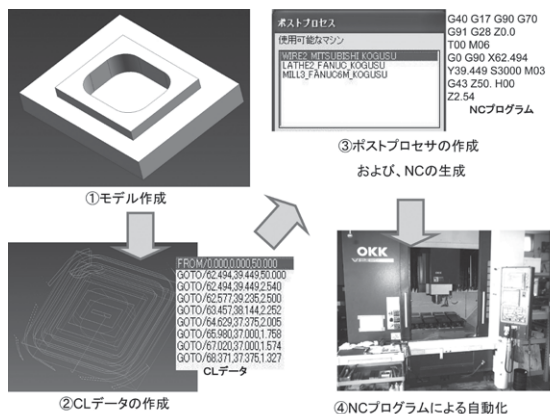
図１３　県内企業の工作機械の自動化方法

3.3　開発したポストプロセサの評価

TCLを用いて作成したポストプロセサを評価するために、図１４に示すNCフライス盤（Makino BUN2-85）、ワイヤ放電加工機（三菱電機㈱ DWC-90H）、CNC旋盤㈱森精機製作所 SL-20）、マシニングセンタ（大阪機工㈱ VP600）のポストプロセサを試作し、モデルデータから目標とする工作物を作製できるか実証試験を行った。
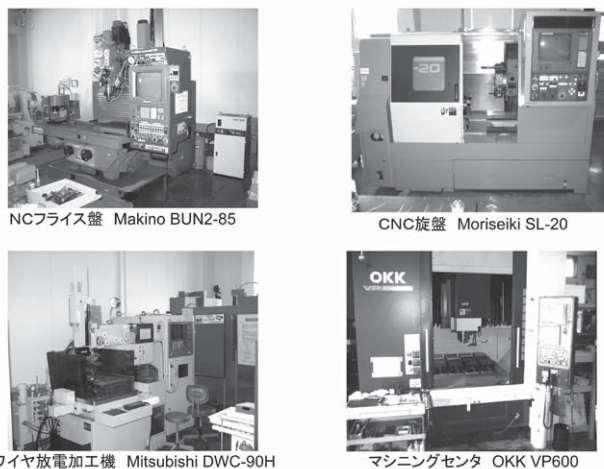
図１４　ポストプロセサの実証試験対象

図１５にNCフライス盤（㈱牧野フライス製作所 BUN2-85）を用いた加工結果を、図１６にCNC旋盤（㈱森精機製作所 SL-20）を用いた加工結果を、図１７にワイヤ放電加工機（三菱電機㈱ DWC-90H）を用いた加工結果を、図１８にマシニングセンタ（大阪機工㈱ VP600）を用いた切削結果を示す。

作成したポストプロセサは有効に機能し、想定通りに、工作機械のステージや付属する機器を制御することを目視確認することができた。また、図１５～図１８に示すとおり、目標とする工作物を作製可能であることを確認した。
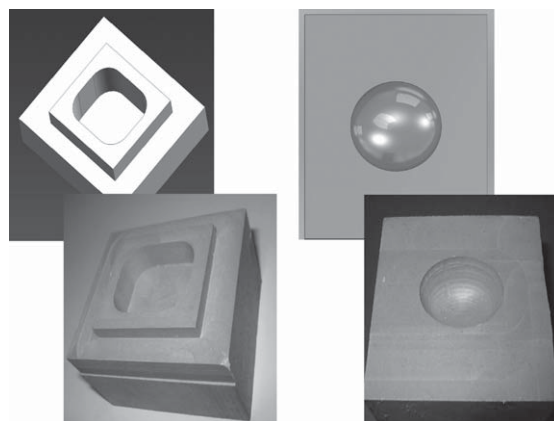
図１５　NCフライス盤の加工結果
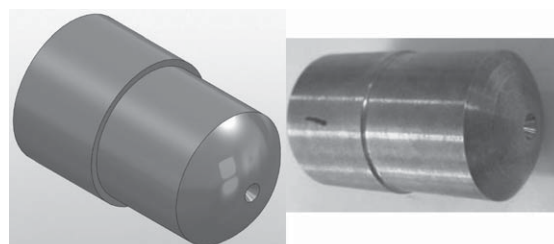
図１６　CNC旋盤の加工結果

図１７　ワイヤ放電加工機の加工結果
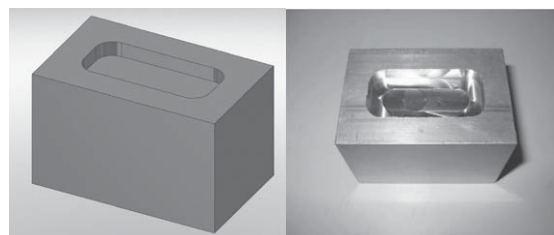
図１８　マシニングセンタの加工結果

4.　CAD/CAEを用いた解析技術の高度化

機械加工の高精度化・効率化のための工作機械の改造や周辺機器の開発には、CAEを用いた解析技術が必要である。解析を実施するには、以下の課題がある。

１）解析結果の妥当性はどの程度ものなのか分からない。

２）最適な境界条件の設定、モデルの簡略化、要素モデルの選択が良く分からない。

３）複雑な解析を行う際、様々な解析ソフトが必要となり、多額の費用がかかる。

これらの課題を解決するために、九州全県および山口県の公設試のCAE担当者で構成される九州連携CAE研究会では、図１９に示す遠隔解析支援システムの開発を行った。このシステムは、解析事例の参照、および、ANSYSを用いた大規模計算を支援するものであり、当センターでは、解析事例の登録、および、長崎県における遠隔解析支援システムの利用環境の構築（ANSYSの境界条件の作成環境の構築）を行った。
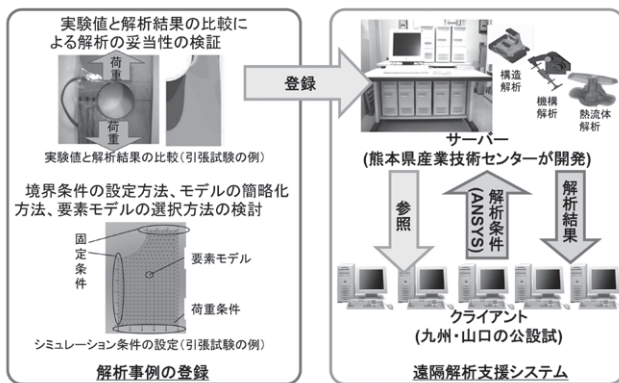
図１９　九州連携CAE研究会の活動

九州連携CAE研究会で、遠隔解析支援システムの開発を行った結果、解析結果と実際の結果にどの程度差がでるのか確認できるようになった。また、最適な境界条件を設定しやすくなった。さらに、構造解析、機構解析だけでなく、当センターで熱流体解析も実施できるようになった。

他にも、講習会等で解析事例を紹介できるようになり、計算結果だけではない、現実的な講習会を実施することが可能になった。

5. 結　言

機械加工業の要望に対応する研究開発を実施し、その結果、以下のことを実現した。

1) 工作機械の高精度化システムにより、既存の工作機械を用いた平面加工の精度向上が可能となった。
2) 機種依存性を考慮したNCプログラム生成システム使用して、県内企業の工作機械を制御するNCプログラムを生成できるようになった。
3) 機械加工の高精度化・効率化のために、CAEによる解析を支援する環境を整えた。

今後は、マスターゲージを用いて補正する技術を、円柱体の自動測定装置の開発に活かす予定である。また、工作機械の自動化を普及するために、CAD/CAMに係る実習セミナーを実施する予定である。さらに、県内企業の装置設計にCAD/CAEの技術を使用する予定である。

参考文献

[1] 長池 康成 他, 高精度低測定力機上測定機の開発, 日本機械学会生産加工・工作機械部門講演会, 2006(6), 125-126.
[2] FANUC Series 15 FANUC Series 150 取扱説明書(付属), 1988.
[3] TCL ディベロッパーサイト　http://www.tcl.tk/ accessed June 6 2011.